

(19) 日本国特許庁 ( J P )

(12) 公開特許公報 ( A )

(11) 特許出願公開番号

特開2002-285278

( P2002-285278A )

(43) 公開日 平成14年10月3日 (2002. 10. 3)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード <sup>*</sup> (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 A 4 K 0 3 7
C 2 1 D 1/26		C 2 1 D 1/26	D
9/46		9/46	F

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2001-90731(P2001-90731)

(22) 出願日 平成13年3月27日(2001. 3. 27)

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72) 発明者 齋藤 好弘

大阪府箕面市小野原東5-1-27-403

(72) 発明者 辻 伸泰

京都府京都市伏見区久我本町1-2

(72) 発明者 上路 林太郎

兵庫県西宮市飯岩町7-14

(74) 代理人 100110168

弁理士 宮本 晴規

Fターム(参考) 4K037 EA02 FG01 FH00 FJ04 JA01

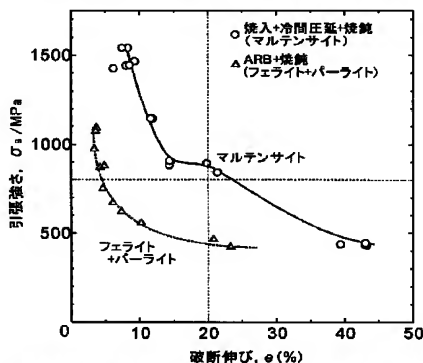
JA06 JA07

(54) 【発明の名称】 普通低炭素鋼を低ひずみ加工・焼鈍して得られる超微細結晶粒組織を有する高強度・高延性鋼板およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高強度・高延性を有する普通低炭素鋼および微量のBを添加した普通低炭素鋼ならびにその製造方法の提供

【解決手段】 普通低炭素鋼または0.01%以下でマルテンサイト変態促進に有効な量のBを添加した普通低炭素鋼を加工・熱処理しオーステナイト結晶粒を粗大化させた後に水冷することにより得られたマルテンサイト相が90%以上の鋼材を低ひずみ加工、具体的には全圧下率が20%以上高々80%未満の冷間圧延と500℃以上600℃以下の低温焼鈍により平均結晶粒径を1.0μm以下の超微細結晶粒フェライト組織とすることによって得られた引張強度が800MPa以上であり、均一伸び5%以上、破断伸びが20%以上の高強度・高延性低炭素鋼材、および該鋼材の製造方法。



普通低炭素鋼(JIS-S3400)のマルテンサイト組織を出発組織とし50%冷間圧延後各種温度で30分間焼鈍した材料とフェライト+パーライト組織を出発組織としARBにより97%冷間圧延後各種温度で30分間焼鈍した材料の引張強度と破断伸びの関係(強度-延性バランス)の比較。

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 普通低炭素鋼または 0.01% 以下でマルテンサイト変態促進に有効な量の B を添加した普通低炭素鋼のオーステナイト結晶粒を粗大化させた後に水冷することにより得られたマルテンサイト相が 90% 以上の鋼材を低ひずみ加工して得られた引張強度が 800 MPa 以上であり、均一伸びが 5% 以上、破断伸びが 20% 以上の高強度・高延性低炭素鋼材。

【請求項 2】 低ひずみ加工が全圧下率 20% 以上高々 80% 未満の冷間圧延と焼鈍により平均結晶粒径を 1.0 μm 以下の超微細結晶粒フェライト組織とするものであることを特徴とする請求項 1 に記載の高強度・高延性低炭素鋼材。

【請求項 3】 焼鈍を 500℃ 以上 600℃ 未満で行うことを特徴とする請求項 2 に記載の高強度・高延性低炭素鋼材。

【請求項 4】 普通低炭素鋼または 0.01% 以下でマルテンサイト変態促進に有効な量の B を添加した普通低炭素鋼を加工・熱処理し、オーステナイト結晶粒を 100 μm 以上に粗大化させた後に水冷することによりマルテンサイト相が 90% 以上である鋼材を得、該鋼材を全圧下率 20% 以上高々 80% 未満の冷間圧延と焼鈍により平均結晶粒径を 1.0 μm 以下の超微細結晶粒フェライト組織とすることを特徴とする引張強度が 800 MPa 以上であり、均一伸びが 5% 以上、破断伸びが 20% 以上の高強度・高延性低炭素鋼材を製造する方法。

【請求項 5】 冷間圧延を全圧下率 20% 以上高々 80% 未満で行った後、500℃ 以上 600℃ 未満で焼鈍を行うことを特徴とする請求項 4 に記載の高強度・高延性低炭素鋼材を製造する方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、普通低炭素鋼または 0.01% 以下でマルテンサイト変態促進に有効な量の B を添加した普通低炭素鋼を加工・熱処理しオーステナイト結晶粒を粗大化させた後に水冷することによりマルテンサイト相が 90% 以上である鋼材を得、該鋼材を全圧下率 20% 以上高々 80% 未満で冷間圧延し、500℃ 以上 600℃ 未満で焼鈍するような低ひずみ加工・焼鈍により得られた引張強さが 800 MPa 以上であり、均一伸びが 5% 以上、破断伸びが 20% 以上である高強度・高延性低炭素鋼材、および該高強度・高延性低炭素鋼材の製造方法に関する。本明細書において、普通低炭素鋼とは、炭素含有量が 0.2% 以下（本明細書では特にことわらない限り重量% を意味する。）、Mn が 1.6% 以下、Si が 0.5% 以下、P が 0.05% 以下、そして S が 0.05% 以下の鋼材である。微量

(0.01% 以下) の B を添加した普通低炭素鋼とは、前記普通低炭素鋼に焼入れ性を向上させるために 0.01% 以下でマルテンサイト変態促進に有効な量の B を添

加したものである。

## 【0002】

【従来の技術】 建築物の高層化による空間の利用性の向上、自動車、船舶などの省エネルギー化、また、資源のリサイクル性の向上は、鉄鋼材料にも要求されている。前二者の要求を満たすためには鉄鋼材料を高強度・高延性のものとする必要があり、資源のリサイクル性は、前記高強度・高延性を合金元素の添加によることなく、普通低炭素鋼を用いて達成することが望ましい。前記鋼材に要求される高度な特性を満たすために、いくつかのプロジェクトが設立されている。これらのプロジェクトでは、スーパーメタル（または超鉄鋼）プロジェクトと呼ばれ、現在の「400 MPa 級組成鋼」を結晶粒径 1 μm 以下の超微細結晶粒化を実現して、前記 2 倍の強度「800 MPa」を持ち、延性があり、かつ溶接し易いフェライト組織鋼を作ろう、というものである。当該分野において、鋼のフェライト結晶粒径の微細化による強度の向上にはホールベッチ（Hall-Petch）の関係が成り立つこと、すなわち、鋼のフェライト結晶粒を細かくすることにより降伏応力と引張強さが上昇すること、またこれと同時に靱性が向上することが知られている。しかし、一般に引張試験における伸びが低下するという問題がある。

【0003】 CAMP-ISI J Vol. 11 (1998) 1031-1034 には、溶接容易な 400 MPa 級の組成鋼から、強度を 800 MPa 級に上昇させた鋼を得ることの検討の中で、フェライト-炭化物組織で粒径 1 μm 以下を達成することを目標とすることが記載されている。そして、その目標を達成するための具体的手段として、厚さ 8 mm の試料をオーステナイト化処理（1100℃、60 秒）後、水冷してマルテンサイト組織を得、これに 640℃ で 2 軸熱間圧延（全圧下率 90%）を施した鋼材のフェライト組織は等軸微細化して、公称粒径が 0.77 μm となり、引張強さが 760 MPa に相当するビッカース硬さ 245 のものが得られたことを報告している。しかしながら、そのバルク鋼材から強度試験用の試験片を作って、直接引張り強度を測定したことの報告はないし、更に伸びについては全く言及していない。また、ここで使用されている鋼材は、焼入性確保のため Mn 含有量を 2.03% に高めたものである上、マルテンサイト化した鋼材の圧延を 640℃ の熱間で行っている。

【0004】 更に、前記高強度、高靱性、高延性化の要求を満足する鋼材の開発においては、合金元素を添加する固溶強化法、析出強化法、変態強化法などが研究されているが、合金元素を多量に含むため高価であるし、リサイクル性を悪くする問題がある。そこで合金元素の添加によらない結晶粒の微細化による強化法が研究され報告もあるが、いずれも大ひずみ加工によるものであり、特殊な加工設備を必要とするという問題がある。本発明

者等も、出発鋼材組織がフェライト・パーライトのものをを用いて、大ひずみ加工である室温 A R B (繰返し重ね接合圧延: Accumulative Roll-Bonding) と焼鈍との組合せにより得られる組織と機械的性質の変化を検討したが、大ひずみ加工後もセメントナイトが存在する領域と存在しない領域が混在する不均一な組織となるため、焼鈍時にフェライト粒径が大きく異なる不均一な混粒組織が生成し、所望の高強度、高延性の鋼材を得ることはできなかった。

【0005】普通低炭素鋼の超微細フェライト結晶粒組織を実現するのに、マルテンサイト組織から出発するという発想は、超鉄鋼の開発を推進する、S T X-21 プロジェクトやスーパーメタルプロジェクトでも使っており、新規なものとは言えない。しかしながら、その方法で実際に引張強さ 800 MPa 以上で、均一伸び 5% 以上、かつ破断伸びが 20% 以上の高強度・高延性低炭素鋼は実現されていない。特に、低ひずみ加工により高強度・高延性および高延性の鋼材を得ることの発想は全く存在しない。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本願発明の課題は、前記所望される特性を持った鋼材を、従来の鋼材の製造工程をあまり変形することなく製造できる方法を提供すること、および前記所望の特性を持つ鋼材を提供することである。前記したように、超微細フェライト結晶粒組織を実現するのに、マルテンサイト組織を出発組織とするという発想は公知である。しかし、焼き入れ性の悪い普通低炭素鋼を製造工程の中で全面的にマルテンサイト組織とすることは困難と考えられていた。本発明者らは、従来の製造工程の変更を少なくして、マルテンサイト鋼を、引張強度が 800 MPa 以上であり、均一伸びが 5% 以上で破断伸びが 20% 以上の高強度・高延性普通低炭素鋼材を製造するための原料とするために、まず、原料マルテンサイトと、その後の処理により得られる鋼材の強度、延性などの特性との関連を検討する中で、オーステナイト結晶粒を粗大化させた後に水冷することにより得られたマルテンサイト相が 90% 以上の鋼材は、低ひずみ加工、すなわち、全圧下率 20% 以上高々 80% 未満の冷間圧延と焼鈍により前記所望の強度、均一伸び、破断伸びなどの特性を持った高強度・高延性低炭素鋼材を得ることができることを発見して前記課題を解決することができた。すなわち、該低ひずみ加工・焼鈍と該加工・焼鈍に供する特定の鋼材との組み合わせにより、前記課題を解決した。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の第 1 は、普通低炭素鋼または 0.01% 以下でマルテンサイト変態促進に有効な量の B を添加した普通低炭素鋼のオーステナイト結晶粒を 100  $\mu$ m 以上に粗大化させた後に水冷することにより得られたマルテンサイト相が 90% 以上の鋼

材を低ひずみ加工・焼鈍して得られた引張強度が 800 MPa 以上であり、均一伸びが 5% 以上で破断伸びが 20% 以上である高強度・高延性低炭素鋼材である。好ましくは、低ひずみ加工・焼鈍が全圧下率 20% 以上高々 80% 未満の冷間圧延と 500℃ 以上 600℃ 未満の焼鈍により平均結晶粒径を 1.0  $\mu$ m 以下の超微細フェライト組織とするものであることを特徴とする前記高強度・高延性低炭素鋼材である。

【0008】本発明の第 2 は、普通低炭素鋼または 0.01% 以下でマルテンサイト変態促進に有効な量の B を添加した普通低炭素鋼のオーステナイト結晶粒を 100  $\mu$ m 以上に粗大化させた後に水冷することによりマルテンサイト相が 90% 以上である鋼材を得、該鋼材を全圧下率 20% 以上高々 80% 未満の冷間圧延と 500℃ 以上 600℃ 未満の焼鈍により平均結晶粒径を 1.0  $\mu$ m 以下の超微細結晶粒フェライト組織とすることを特徴とする引張強度が 800 MPa 以上であり、均一伸びが 5% 以上で破断伸びが 20% 以上である高強度・高延性低炭素鋼材を製造する方法である。

20

【0009】

【本発明の実施の態様】本発明をより詳細に説明する。A. 本発明を説明するための、試験方法、測定装置などをまとめて説明する。

1. 引張試験片の形状は J I S 5 号試験片の 1/5 の大きさ (平行部長さ 10 mm × 平行部幅 5 mm) である。  
2. 光学顕微鏡、T E M の観察試料は公知の方法により作成した。

【0010】B. 本発明の特徴を図を参照しながら説明する。図 1 は一般構造用圧延鋼材 (J I S-S S 400) (C 0.13%, Si 0.01%, Mn 0.37%, P 0.02%, S 0.004%, sol. Al 0.04%) の厚さ 2 mm の熱延版 (受入れ材) を、1000℃ で 15 分間オーステナイト化処理してオーステナイト粒径を 100~200  $\mu$ m に粗大化した後に水冷して得られた焼入れ材の縦断面の光学顕微鏡組織写真である。約 4% の初析フェライトを含む粗大なマルテンサイト組織である。

【0011】図 2 は図 1 の焼入れ材を多パス冷間圧延により全圧下率 50% (a)、および 70% (b) まで圧延して得られた冷間圧延材の縦断面の光学顕微鏡組織写真である。旧オーステナイト粒界に析出した初析フェライトが黒いコントラストで観察される。通常、炭素鋼のマルテンサイトは焼入れまでは加工性が悪いとされるが、低炭素鋼マルテンサイト、少なくとも本発明の処方により形成されたものは 70% 以上の冷間圧延が可能であることを図 2 は示している。

【0012】図 3 は図 1 の焼入れ材、図 2 の冷間圧延材の引張試験による公称応力-公称ひずみ曲線である。参考のためフェライト・パーライト組織を有する受入れ材の公称応力-公称ひずみ曲線を破線で示した。焼入れに

50

より引張強さは410MPaから1100MPaに上昇し、更に25%冷間圧延により1340MPa、50%冷間圧延により1470MPa、70%冷間圧延により1640MPaに上昇している。しかしながら破断伸びは焼入れ材で約10%、冷間圧延材では約6%である。また冷間圧延材の均一伸びは1%以下である。

【0013】図4は図3の50%冷間圧延材及びそれを各種温度で30分間焼鈍した焼鈍材の引張試験による公称応力-公称ひずみ曲線である。焼鈍により強度は低下するが、500℃以上の焼鈍により延性が回復し、500℃～550℃では強度があまり下がらずに破断伸びと均一伸びが明瞭に増加している。その結果、550℃焼鈍材において引張強さ870MPa、0.2%耐力710MPa、破断伸び21%、均一伸び8%の超高強度・高延性鋼が得られた。

【0014】図5は50%冷間圧延材とその焼鈍材の引張強さ、0.2%耐力、破断伸び、均一伸びと焼鈍温度の関係を示す。破断伸びと均一伸びは焼鈍温度が525℃を超えると急激に回復するが、引張強さは500℃から550℃の間で殆ど一定となっている。これが550℃において超高強度・高延性鋼が得られた原因である。

【0015】図6は50%冷間圧延・焼鈍材の縦断面のTEM組織写真である。400℃焼鈍材(a)の組織は圧延材と同様のマルテンサイトラスに由来する層状組織である。500℃焼鈍材(b)では等軸形状の粒径100～300nmの超微細結晶粒が広い範囲で観察された。図には示さないが(b)の制限視野回折図形よりこれらの微細等軸粒は六角粒界に囲まれており、サブグレインではないことが明らかになっている。550℃焼鈍材も同様の超微細粒組織であるが、600℃では粒径が数μmまで粗大化した結晶粒と球状に析出したセメンタイトが観察された。このセメンタイトの析出が500℃以上で起こり、結晶粒成長を抑制することによって、100～300nmの超微細粒組織を発生させ、同時に均一伸びに必要な加工硬化能を賦与したと考えられる。以上のように低炭素鋼マルテンサイトを出発組織として、圧下率50%という低ひずみ加工と550℃焼鈍により超微細フェライト結晶粒組織が得られ、超高強度・高延性低炭素鋼が得られることが明らかとなった。

【0016】図7に本発明の鋼であるマルテンサイトの50%冷間圧延・焼鈍材(○)および従来技術のフェライト+パーライト組織を出発組織とした大ひずみ加工材(97%冷間圧延材)(△)の強度-延性バランスを示

す。前記したように、フェライト+パーライト組織を出発組織とし大ひずみ加工を行った場合、焼鈍により得られる組織は混粒組織となり、所望の高強度・高延性は得られなかった。これに対して、本発明のマルテンサイトの冷間圧延・焼鈍材では強度-延性バランスは図7から明瞭に分かるように、引張強度800MPa以上でかつ破断伸び20%以上の条件を満たす実験点が得られている。

【0017】

【発明の効果】以上述べたように、0.13%C普通低炭素鋼(JIS-S400)について本発明のマルテンサイト組織を出発組織として50%冷間圧延後焼鈍を行うと粒径100～300nmの超微細フェライト結晶粒組織が得られ、また550℃で30分間焼鈍において引張強さ870MPaで破断伸びが21%、均一伸び8%と極めて優れた機械的性質を持った鋼が得られる、という優れた効果がもたらされる。

【図面の簡単な説明】

【図1】1000℃で15分間オーステナイト化熱処理後水冷した普通低炭素鋼板(JIS-S400、厚さ2mm)の縦断面の光学顕微鏡組織

【図2】普通低炭素鋼(JIS-S400)のマルテンサイト組織を出発組織とする冷間圧延材の縦断面の光学顕微鏡組織。(a)50%冷間圧延、(b)70%冷間圧延

【図3】普通低炭素鋼(JIS-S400)の焼入れ材と各種圧下率冷間圧延材の公称応力-公称ひずみ曲線

【図4】普通低炭素鋼(JIS-S400)のマルテンサイト組織を出発組織とする50%冷間圧延材、およびそれを各種温度で30分間焼鈍した材料の公称応力-公称ひずみ曲線

【図5】普通低炭素鋼(JIS-S400)のマルテンサイト組織を出発組織とする50%冷間圧延・焼鈍材の焼鈍温度と機械的性質の関係

【図6】普通低炭素鋼(JIS-S400)のマルテンサイト組織を出発組織とする50%冷間圧延・焼鈍材の縦断面のTEM組織。(a)400℃、(b)500℃、(c)550℃、(d)600℃、各温度30分間焼鈍

【図7】普通低炭素鋼(JIS-S400)のマルテンサイト組織を出発組織とし50%冷間圧延後各種温度で30分間焼鈍した材料とフェライト+パーライト組織を出発組織としARBにより97%冷間圧延後各種温度で30分間焼鈍した材料の引張強さと破断伸びの関係(強度-延性バランス)の比較

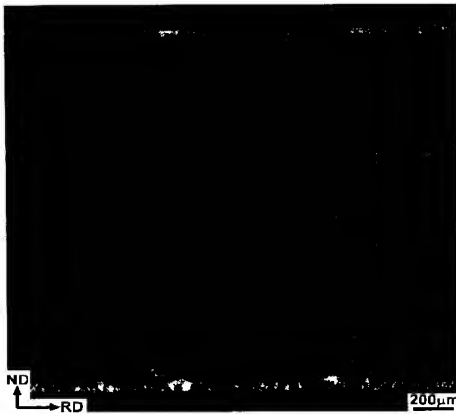
10

20

30

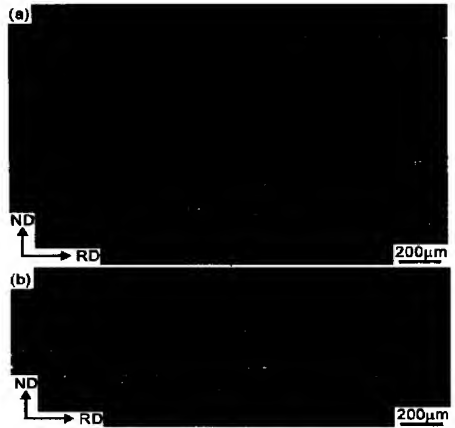
40

【図1】



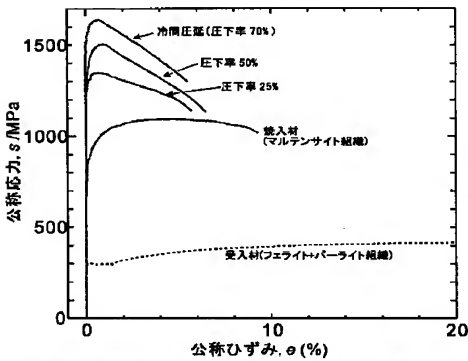
1000℃で15分間オーステナイト化熱処理後水冷した普通低炭素鋼板 (JIS-SS400, 厚さ2mm) の縦断面の光学顕微鏡組織。

【図2】



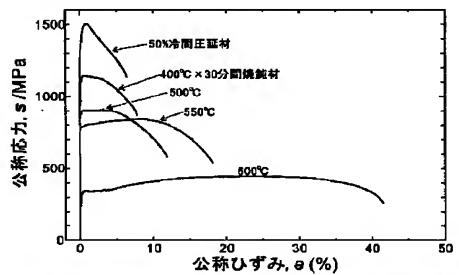
普通低炭素鋼 (JIS-SS400) のマルテンサイト組織を出発組織とする冷間圧延材の縦断面の光学顕微鏡組織。(a)50%冷間圧延, (b)70%冷間圧延。

【図3】



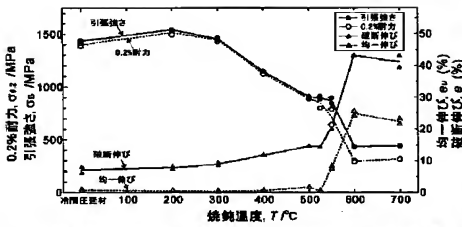
普通低炭素鋼 (JIS-SS400) の焼入材と各種圧下率冷間圧延材の公称応力-公称ひずみ曲線。

【図4】



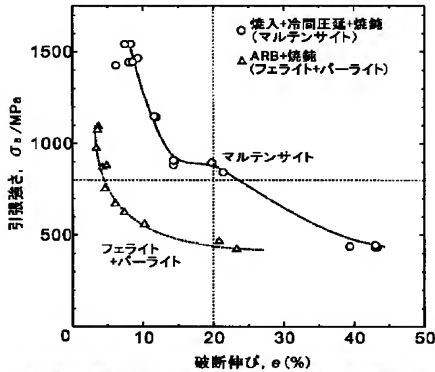
普通低炭素鋼 (JIS-SS400) のマルテンサイト組織を出発組織とする50%冷間圧延材, およびそれを各種温度で30分間焼鈍した材料の公称応力-公称ひずみ曲線。

【図5】



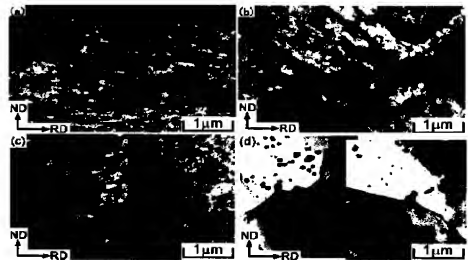
普通低炭素鋼(JIS-S5400)のマルテンサイト組織を出発組織とする50%冷間圧延・焼鈍材の焼鈍温度と機械的性質の関係。

【図7】



普通低炭素鋼(JIS-S5400)のマルテンサイト組織を出発組織とし50%冷間圧延後各種温度で30分間焼鈍した材料とフェライト+パーライト組織を出発組織としARBにより97%冷間圧延後各種温度で30分間焼鈍した材料の引張強さと破断伸びの関係(強度-延性バランス)の比較。

【図6】



普通低炭素鋼(JIS-S5400)のマルテンサイト組織を出発組織とする50%冷間圧延・焼鈍材の縦断面のTEM組織。(a)400℃、(b)500℃、(c)550℃、(d)600℃、各温度30分間焼鈍。